

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2016.03.015

湿地型生态岛植物适应性试验

王亚艳¹, 李蒙英², 倪鹏平², 张剑刚³, 徐玉良³, 蔡 聪³, 谢立群¹

(1. 苏州大学建筑与城市环境学院, 江苏 苏州 215123; 2. 苏州大学基础医学与生物科学学院, 江苏 苏州 215123;
3. 昆山市水利工程质量安全监督和水利技术推广站, 江苏 苏州 215300)

摘要:为了掌握湿地型生态岛中植物的适应性,了解适宜生长的植物和适宜的生态岛类型,以昆山望山河为试验河道,构造了两种类型湿地型生态岛对水生植物的越冬情况、生态适应性和氮磷积累量进行了试验研究。结果表明:所选择的 5 种水生植物越冬发芽率从大到小依次为鳶尾与黄菖蒲(两者相同)、梭鱼草、水葱、香蒲;砾石+泥土基质的生态岛有利于植物的株高和根数增加以及植物生长和氮磷的积累,提高湿地系统去除氮磷的能力;植物适应性和净化潜力从大到小依次为梭鱼草、鳶尾、黄菖蒲、水葱;鳶尾和黄菖蒲在试验地区可常绿越冬,适宜于冬季的城市河道治理,景观效果较好。

关键词:湿地型生态岛;水生植物;植物适应性;氮磷积累量;望山河

中图分类号:TV85 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2016)03-0079-05

Adaptability test of plants in wetland ecological island

WANG Yayan¹, LI Mengying², NI Pengping², ZHANG Jiangang³, XU Yuliang³, CAI Cong³, XIE Liqun¹

(1. School of Architecture and Urban Environment, Soochow University, Suzhou 215123, China;
2. School of Foundation Medicine and Biological Science, Soochow University, Suzhou 215123, China;
3. Water Conservancy Engineering Quality and Safety Supervision, and Water Conservancy Technology Extension Station of Kunshan City, Suzhou 215300, China)

Abstract: In order to understand the adaptability of plants in the wetland ecological island, the suitable plants, and the suitable type of ecological island, the overwintering situation of aquatic plants, ecological adaptability, and nitrogen and phosphorus accumulation were discussed by constructing two types of wetland ecological island in Wangshan River of Kunshan City. Results show that the overwintering germination rates of five chosen aquatic plants from high to low are: *Iris sibirica*, *Iris pseudacorus*, *Pontederia cordata*, *Scirpus tabernaemontani*, and *Typha orientalis*. The ecological island of gravel-soil matrix is conducive to the increase of the plants height and root numbers, growth of plants, and nitrogen and phosphorus accumulation, which will improve the ability of nitrogen and phosphorus removal of the wetland system. The plant adaptability and purification potential of four chosen aquatic plants from large to small are: *Pontederia cordata*, *Iris sibirica*, *Iris pseudacorus*, *Scirpus tabernaemontani*. *Iris sibirica* and *Iris pseudacorus* can be evergreen winter in the experimental region, which are suitable for urban river regulation in winter and the landscape effect is good.

Key words: wetland ecological island; aquatic plants; adaptability of plants; nitrogen and phosphorus accumulation; Wangshan River

随着经济的发展和城市化水平的快速提高,我国部分城市河道水质恶化,污染严重,城市河道作为具有丰富生态功能的自然景观的重要组成部分,生态系统严重退化,城市河道生态修复刻不容缓^[1-3]。

基金项目:昆山市科学技术局科技专项(KS1456);苏州市建筑与城市环境重点实验室建设项目(AKLK13004)
作者简介:王亚艳(1989—),女,硕士研究生,研究方向为园林植物与生态修复。E-mail: yayan.1011@163.com
通信作者:谢立群,副教授。E-mail: xlqsz@126.com

在众多生态修复技术中,人工湿地技术和生态岛技术是目前比较常用而且有效的生态修复技术^[4]。人工湿地技术广泛应用于各种废水处理,与常规技术相比具有成本低、易操作维护的优点^[5-6],对其研究大多集中于植物筛选、植物和基质净化效果等方面;而生态岛技术兼有改善水质、提升景观效果同时恢复水生生态系统的功能^[7],已有较为深入的基础研究和应用研究^[8-9]。

本文通过对城市河道中不同类型湿地型生态岛上植物越冬发芽率、株高、根长、根数、生物量、氮磷积累量的试验研究,分析湿地型生态岛中水生植物的适应性和净化潜力,以便将湿地型生态岛应用于城市河道修复,提高河水净化能力,达到河道生态修复的目的。

1 试验设计

1.1 河道基本状况

以昆山望山河为试验河道,该河道位于江苏省昆山市老城区亭林公园附近,上游与致塘河垂直交汇,全长 900 m,宽 2.5 m,为典型的城市河道,驳岸为垂直式的硬性驳岸,景观效果较差。

河道两侧均无大型挺水植物生长,河道内浮水和沉水植物稀少,仅河道临水两侧存在少量狐尾藻等,水质浑浊,河道黑臭现象明显,水质测定结果综合评价为劣 V 类,溶解氧含量较低,水体出现季节性黑臭现象,特别是在气温回升后常常散发阵阵恶臭气味,严重影响周围居民生活和城市市容。经调查,望山河河道的污染主要来源于附近居民区生活垃圾。

1.2 湿地型生态岛设计

湿地型生态岛构筑于望山河河道中,外围用木栅构建。桩顶以下 40 cm 的区域为植物栽培层,植物栽培层以下的区域为粗砾石层,根据基质的不同组成,分别构建面积为 1.2 m×7 m 的 A 型和 B 型两种类型共 6 个生态岛。

a. A 型生态岛植物栽培层设置。生态岛用镂空塑料筐构筑,塑料筐尺寸为 60 cm×45 cm×30 cm。在粗砾石层上用土工布围边,上铺 5 cm 左右细砾石,细砾石上放塑料框,塑料筐内用土工布铺底和围边,筐内装泥后筐沿生态岛边缘排列 1 行,间隔 30 cm,筐之间填充细砾石,筐内栽种植物。设置 2 个 A 型生态岛(A1 和 A2)。

b. B 型生态岛植物栽培层设置。在粗砾石层上用土工布铺底和围边,当中填 40 cm 左右粗砂,粗砂内栽种植物。共设置 4 个 B 型生态岛(B1、B2、B3、B4)。

c. 植物选择。选择适当的植物和基质是构建

生态岛的关键之一。湿地植物的选择以耐污能力强、除污效果好、根系发达、有一定的景观效果为原则。本试验选择鸢尾(*Iris sibirica*)、香蒲(*Typha orientalis*)、黄菖蒲(*Iris pseudacorus*)、水葱(*Scirpus tabernaemontani*)、梭鱼草(*Pontederia cordata*)这 5 种苏州本地常见的大型挺水植物构建生态岛,各生态岛种植的植物见图 1。

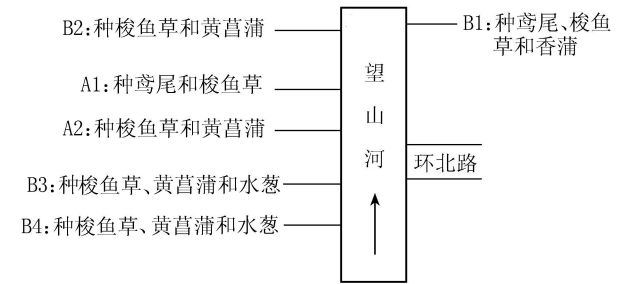


图 1 试验生态岛布置示意图

1.3 测定指标与方法

试验分两部分,一是越冬发芽率试验(2013 年 10 月至 2014 年 4 月);二是植物适应能力及净化潜力分析(2013 年 10 月至 2014 年 10 月)。

a. 植物越冬发芽率。5 种植物于 2013 年 10 月初种植,试验开始时间为 2013 年 10 月 12 日,到 2014 年 4 月 23 日停止,每 2 周观测其长势,测定其发芽株数,计算其在不同生态岛上的发芽率,分析不同生态岛对植物越冬发芽率的影响。

b. 植物适应能力。采用 3 株植物的平均值计算株高、根数和最长根长,以分析同种植物在不同生态岛上以及不同植物在同种生态岛上的适应能力,从而优选出适宜植物生长的生态岛类型以及适应能力强的植物种类。

c. 植物净化潜力。植物氮磷积累量表示植物从湿地系统中带走的氮磷量,是直接反应植物净化潜力的重要指标。生物量和氮磷含量决定了植物对氮磷的积累性能^[10]。①植物生物量的测定。植物在去除杂质后,将待测样品在 80℃ 烘箱中烘至恒重后称重,计算平均生物量。②植物氮磷积累量的测定。将植物样品用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮制备成溶液,总氮含量用过硫酸钾氧化吸光光度法测定^[11],总磷含量用钒钼蓝法测定^[12]。将测得的植物生物量乘以植物氮磷的质量浓度就得到植物氮磷积累量^[13]

2 试验结果与分析

2.1 植物越冬发芽率

植物越冬期间(2013 年 10 月至 2014 年 4 月)最低温度为-4℃(12 月),最高温度为 17℃(4 月)。植物发芽初始温度为 13℃(3 月)。

发芽期间发芽株数与发芽率如图 2 所示。鸢尾与黄菖蒲在苏州地区湿地型生态岛上均可以常绿越冬,香蒲发芽期在 3 月左右,梭鱼草发芽期一般在 3 月中下旬至 4 月。湿地型生态岛上 5 种植物越冬后发芽时间依次为鸢尾与黄菖蒲、香蒲、梭鱼草、水葱。

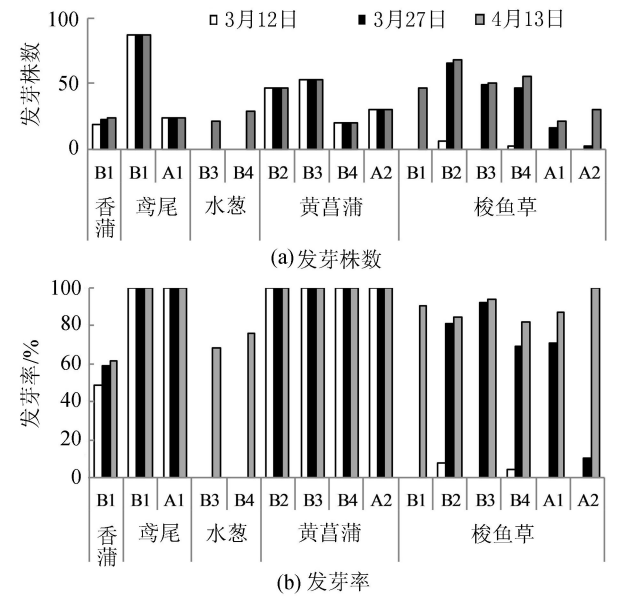


图 2 生态岛植物发芽株数与发芽率

香蒲、水葱在 B 型生态岛上的平均发芽率分别为 61.54% 和 72.53%。梭鱼草在 B 型和 A 型生态岛上的平均发芽率分别为 88.02% 和 93.75%, 其因为 A 型生态岛栽培层基质为泥土, 其保温效果较粗砂好。植物在 B 型生态岛上的发芽率从大到小依次为鸢尾与黄菖蒲(两者相同)、梭鱼草、水葱、香蒲, 梭鱼草在 B 型生态岛上的发芽率小于 A 型生态岛, 比较适合于 A 型生态岛上生长越冬。

2.2 植物适应能力

植物株高、根数、最长根长是反应植物适应能力的几个主要指标。2014 年 10 月试验终止时两种不同生态岛均种植的 3 种植物株高、根数和最长根长情况如表 1 所示。可以看出, 在 2 种类型生态岛上植物适应能力从大到小依次为鸢尾、黄菖蒲、梭鱼草; A 型生态岛有利于植物株高和根数增加, B 型生态岛有利于植物根系生长。

表 1 3 种植物在不同生态岛上的株高、根数和最长根长

植 物	生态岛类型	株高/cm	根数/条	最长根长/cm
鸢 尾	A	130.0±4.0a	98.0±5.6a	18.1±1.8b
	B	110.3±3.2b	51.5±3.1b	24.4±2.9a
梭鱼草	A	108.0±16.5b	须根	21.2±1.8ab
	B	106.3±2.5b	须根	21.8±1.5ab
黄菖蒲	A	123.0±5.1ab	54.0±7.0b	23.1±1.8a
	B	111.7±8.1b	35.3±7.9c	32.5±7.4ab

注: 含有相同字母代表差异不显著($p>0.05$), 不同字母代表差异显著($p<0.05$)。

A 型生态岛更有利于 3 种植物的株高和根数增加, B 型生态岛有利于植物根系生长, 其原因与栽培层基质相关, 泥土有利于植物生长, 而粗砂更有利于植物根系长度的增加。鸢尾与黄菖蒲适应性较梭鱼草强。

陈永华等^[14]通过对 17 种湿地植物的研究表明, 潜流湿地系统处理 90 d 后, 鸢尾和梭鱼草的根数和最长根长分别为 12 条、14 条和 137 cm、22 cm。湿地型生态岛上植物根数均多于潜流湿地系统, 梭鱼草最长根长基本相同, 鸢尾最长根长明显小于潜流湿地系统。可见湿地型生态岛的构建利于植物根系数量的增长。

2.3 植物净化潜力

2.3.1 植物生物量

植物样品于 2014 年 10 月采集, 此时植物生物量积累达到最大值。从表 2 可看出: A 型生态岛上不同植物总生物量、地上生物量和地下生物量大小趋势相同, 均依次为梭鱼草、鸢尾和黄菖蒲。B 型生态岛上, 不同植物总生物量大小和地下生物量大小趋势相同, 均依次为梭鱼草、鸢尾、黄菖蒲和水葱, 梭鱼草总生物量和地下生物量是鸢尾、黄菖蒲和水葱的 1.592 倍、5.667 倍、44.606 倍和 2.188 倍、10.659 倍、57.712 倍; 地上生物量大小依次为鸢尾、梭鱼草、黄菖蒲、水葱, 鸢尾的生物量分别是梭鱼草、黄菖蒲和水葱生物量的 1.352 倍、2.572 倍、30.962 倍。因此, 在 A 型和 B 型湿地型生态岛上按植物生物量选择次序为梭鱼草、鸢尾、黄菖蒲、水葱。

表 2 不同生态岛上植物生物量 kg/m^2

生态岛类型	植 物	总生物量	地上生物量	地下生物量
A	鸢 尾	7.773	2.463	5.310
	梭鱼草	11.098	3.550	7.548
	黄菖蒲	1.359	0.460	0.899
B	鸢 尾	3.984	1.641	2.343
	梭鱼草	6.341	1.214	5.127
	黄菖蒲	1.119	0.638	0.481
	水 葱	0.142	0.053	0.089

从不同生态岛种植同种植物角度分析, 黄菖蒲的总生物量、地下生物量均为 A 型生态岛大于 B 型生态岛, A 型生态岛分别为 B 型生态岛 1.214 倍和 1.869 倍, 地上生物量为 B 型生态岛的 72.1%; 鸢尾和梭鱼草在 A 型生态岛的总生物量、地上生物量、地下生物量分别是 B 型生态岛的 1.951 倍、1.501 倍、2.266 倍和 1.750 倍、2.924 倍、1.472 倍。

刘霄等^[10]对香蒲和梭鱼草 2 种湿地植物研究结果表明, 经过 5 个月的生长, 梭鱼草总生物量为 10.83 kg/m^2 , 小于本试验 A 型生态岛上梭鱼草总生物量, 大于 B 型生态岛上梭鱼草总生物量, 可见相

较于湿地系统和 B 型生态岛,A 型生态岛更有利于梭鱼草生物量的积累,其原因是 A 型生态岛更有利于植物根系的生长和对营养物质的吸收。

根区是植物去除湿地污染物的活性区,根系生物量高的植物污染物去除能力强,选择具有较高根系生物量的植物可提高湿地氮磷的去除效率^[15]。相比 B 型生态岛,A 型生态岛更有利于植物总生物量和地下生物量的增长,提高湿地系统去除污染物的效果。按植物生物量选择的优劣次序为梭鱼草、鸢尾、黄菖蒲、水葱。

2.3.2 植物氮磷含量和积累量

植物体内氮磷积累量如表 3 所示。

表 3 植物体内氮磷积累量 g/m²

生态岛类型	植 物	氮积累量		磷积累量	
		地上部分	地下部分	地上部分	地下部分
A 岛	鸢 尾	48.279±1.505	70.088±9.567	12.068±0.908	16.937±0.979
	梭鱼草	80.235±4.241	169.079±27.159	13.901±1.280	43.345±3.031
	黄菖蒲	11.316±2.352	15.458±2.593	4.070±0.775	4.954±0.249
B 型	鸢 尾	43.322±4.357	57.167±2.832	11.431±0.985	14.436±1.368
	梭鱼草	30.102±3.330	100.491±10.374	5.215±0.578	25.762±1.296
	黄菖蒲	16.068±1.756	6.930±2.165	5.780±0.393	2.772±0.222
	水 葱	1.088±0.164	1.990±0.293	0.092±0.012	0.173±0.033

从同种生态岛种植不同植物角度分析:①A 型生态岛上基于较高的生物量,梭鱼草和鸢尾具有较高的氮磷积累量;黄菖蒲的氮磷积累量最小,分别是梭鱼草和鸢尾氮磷积累量的 10.74%、15.76% 和 22.62%、31.11%。②B 型生态岛上,氮磷积累量大小次序均为梭鱼草、鸢尾、黄菖蒲、水葱,梭鱼草的总氮积累量依次为鸢尾、黄菖蒲、水葱总氮积累量的 1.300 倍、5.678 倍和 42.428 倍,总磷积累量依次为 1.198 倍、3.622 倍和 116.894 倍。

从不同生态岛种植同种植物角度分析:①A 型生态岛上黄菖蒲的氮磷积累量分别高于 B 型生态岛 16.42% 和 5.52%,A 型生态岛的地上部分和地下部分氮磷积累量分别是 B 型生态岛的 0.704 倍、2.231 倍和 0.704 倍、1.787 倍。②A 型生态岛上梭鱼草的氮磷积累量分别是 B 型生态岛上的 1.909 倍和 1.848 倍,地上部分和地下部分氮磷积累量 A 型生态岛显著大于 B 型生态岛。③B 型生态岛上鸢尾的氮磷积累量分别低于 A 型生态岛 15.10% 和 10.82%,植株地上部分、地下部分氮磷积累量均为 A 型生态岛大于 B 型生态岛。A 型生态岛有利于 3 种植物体内氮磷的积累。

刘霄等^[10]研究表明,经过 5 个月的生长,梭鱼草的氮磷积累量分别为 117.12 g/m² 和 25.42 g/m²,分别比本试验中 A 型和 B 型生态岛上梭鱼草的氮磷积累量低。

植物地下部分与地上部分氮磷积累量的比值反映了植物储存氮磷的分布,两种生态岛上植物地下和地上部分氮磷积累量均差异显著。氮磷主要积累在鸢尾和梭鱼草的根部。收割地上组织可以去除湿地植物积累的部分氮磷,4 种植物相比较,黄菖蒲在 A、B 型生态岛上的地上、地下部分氮磷积累的分配有利于通过收割地上部分去除氮磷。经过筛选,鸢尾和黄菖蒲适宜于 B 型生态岛,梭鱼草在 A 型生态岛上生长更有利于氮磷积累。按氮磷积累量选择从大到小次序为梭鱼草、鸢尾、黄菖蒲、水葱。

3 结 论

a. 植物越冬期间,鸢尾与黄菖蒲在苏州地区湿地型生态岛上均可以常绿越冬,适宜于冬季的水体绿化,景观效果较好。香蒲发芽期在 3 月左右,梭鱼草和水葱发芽期一般在 3 月中下旬至 4 月。植物发芽率大小依次为鸢尾和黄菖蒲(两者相同)、梭鱼草、水葱、香蒲。

b. A 型生态岛更利于植物越冬发芽生长和 3 种植物的株高和根数增加,B 型生态岛有利于植物根系生长。梭鱼草须根较为发达,主根不明显,鸢尾与黄菖蒲适应性较梭鱼草更强。

c. 两种生态岛中,A 型生态岛更有利于植物总生物量、地下生物量和氮磷积累量的增长,有利于提高湿地系统去除污染物的效果。

d. 植物适应性和净化潜力优劣程度次序为梭鱼草、鸢尾、黄菖蒲、水葱。

参考文献:

[1] 邹丛阳,张维佳,李欣华,等.城市河道水质恢复技术及发展趋势[J].环境科学与技术,2007,30(8):99-102. (ZOU Congyang, ZHANG Weijia, LI Xinhua, et al. Restoration technology and development trend of water quality in urban river[J]. Environmental Science and Technology,2007,30(8):99-102. (in Chinese))

[2] 颜雷,田庶慧.水生态环境修复研究综述[J].水利科技与经济,2009,17(9):73-75. (YAN Lei,TIAN Shuhui. A review research on restoration of water ecological environment [J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2009, 17 (9) : 73-75. (in Chinese))

[3] 陈兴茹.城市河流生态修复浅议[J].中国水利水电科学研究院学报,2006,4(3):226-231. (CHEN Xingru. Brief discussion on urban river course ecological restoration [J]. Journal of Chinese Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2006,4(3):226-231. (in Chinese))

[4] 於建明,吴成明,陈哲,等.宁波市中塘河支流黑臭河道

- 治理与生态修复[J]. 中国给水排水,2013,29(4):64-67. (YU Jianming, WU Chenming, CHEN Zhe, et al. Improvement and ecological remediation of Malodorous River, Zhongtang River tributary in Ningbo City[J]. China Water and Wastewater, 2013,29(4):64-67. (in Chinese))
- [5] WOLTEMADE C J. Ability of restored wetlands to reduce nitrogen and phosphorus concentrations in agricultural drainage water [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000,53(3):303-309.
- [6] LINA T, DIEDERIK P L, ROUSSEAU S S. Application of the gas tracer method for measuring oxygen transfer rates in subsurface flow constructed wetlands [J]. Water Research,2010,44(14):4217-4225.
- [7] 王鹤霏,贾艾晨,张晓东,等. 人工浮岛对城市景观用水水质净化效果的研究[J]. 环境保护科学,2013,39(5):14-17. (WANG Hefei, JIA Aichen, ZHANG Xiaodong, et al. Study on purification effect of artificial floating island on urban landscape water [J]. Environmental Protection Science, 2013,39(5):14-17. (in Chinese))
- [8] 王金丽,颜秀勤,宁冰,等. 浮岛植物净化水质效果研究[J]. 环境科学与技术,2011,34(10):14-18. (WANG Jinli, YAN Xiuqin, NING Bing, et al. Effect of floating-island plant on water purification [J]. Environmental Science and Technology, 2011,34(10):14-18. (in Chinese))
- [9] 童国璋,叶旭红. 生态浮岛技术概述及应用前景[J]. 江西科学,2010,28(4):470-472. (TONG Guozhang, YE Xuhong. Artifical ecological floating fed overviews and the application prospect[J]. Jiangxi Science,2010,28(4):470-472. (in Chinese))
- [10] 刘霄,黄岁樑,唐婷芳子,等. 人工湿地植物生长特性及其对氮磷富集能力研究[J]. 水资源与水工程学报,2011,22(5):1-5. (LIU Xiao, HUANG Suiliang, TANG Tingfangzi, et al. Growth characteristic and nitrogen phosphorous accumulation ability of artificial wetland plants [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering,2011,22(5):1-5. (in Chinese))
- [11] 吴建之,葛滢. 过硫酸钾氧化吸光光度法测定植物总氮[J]. 理化检验:化学分册,2000,36(4):166-167. (WU Jianzhi, GE Ying. UV absorptiophotometric determination of total nitrogen in plant after $K_2S_2O_8$ oxidation [J]. Physical Testing and Chemical Analysis: Chemical Analysis,2000,36(4):166-167. (in Chinese))
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2000:207-237.
- [13] 李建娜,胡曰利,吴晓芙,等. 人工湿地污水处理系统中的植物氮磷吸收富集能力研究[J]. 环境污染与防治,2007,29(7):506-509. (LI Jianna, HU Yueli, WU Xiaofu, et al. Nitrogen and phosphorus removal capacity of plant species in constructed wetland for treating municipal wastewater [J]. Environmental Pollution and Control, 2007,29(7):506-509. (in Chinese))
- [14] 陈永华,吴晓芙,蒋丽娟,等. 处理生活污水湿地植物的筛选与净化潜力评价[J]. 环境科学学报,2008,28(8):1549-1554. (CHEN Yonghua, WU Xiaofu, JIANG Lijuan, et al. Screening and evaluation of plant purification potential for phytoremediation of sanitary sewage[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2008,28(8):1549-1554. (in Chinese))
- [15] ADCOCK P W, GANF G G. Growth characteristics of three macrophyte species growing in a natural and constructed wetland system [J]. Water Science and Technology,1994,29(4):95-102.

(收稿日期:2015-06-03 编辑:熊水斌)

(上接第78页)

- [6] 刘喜燕,席望潮. 珠江流域水资源调配骨干体系研究[J]. 人民珠江,2010(增刊1):4-6. (LIU Xiyao, XI Wangchao. Study on the core system of water resources allocation in the Pearl River Basin [J]. Pearl River,2010(sup1):4-6. (in Chinese))
- [7] 黎小正,吴祥庆,秦振发,等. 基于秩相关系数法评价东塔鱼类产卵场浮游植物生物量变化趋势[J]. 广东农业科学,2011(12):121-122. (LI Xiaozheng, WU Xiangqing, QIN Zhenfa, et al. Evaluation based on the rank correlation coefficient for pland palnkton biomass change tendency of fish reporuction spot in Dongta[J]. Guangdong Atricultural Sciences,2011(12):121-122. (in Chinese))
- [8] 周瑞雪. 增殖放流与生态修复[J]. 生物学教学,2011,36(9):7-9. (ZHOU Ruixue. Proliferation and releasing and ecological restoration[J]. Biology Teaching,2011,36(9):7-9. (in Chinese))
- [9] 中国水电工程顾问集团公司. 增殖放流站[N]. 中国能源报,2013-01-21(24).

(收稿日期:2015-04-26 编辑:彭桃英)

